جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و دوم، زمستان ۱۳۹۸

صص ۱۸۹- ۱۷۳

DOI: https://doi.org/10.22067/geo.v8i4.83225

مقاله پژوهشی

ارزیابی ریسک زیست‌محیطی سد باطله معدن مس سونگون با استفاده از روش EFMEA

جواد خیرخواه - کارشناس ارشد مهندسی و مدیریت ساخت، مؤسسه آموزش عالی خاوران، مشهد، ایران

مهران امیری[1]- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۲٤ تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۲/۲٤

چکیده

هدف اصلی از احداث سدهای باطله، مدیریت، جمع‌آوری و نگهداری مواد باطله معادن و پساب‌های حاصل از فعالیت‌های معدنی است. از طرفی مواد آلاینده خطرناک در پسماندها و زهاب‌های اسیدی ذخیره‌شده در سدهای باطله دارای پتانسیل ایجاد آثار سوء بر محیط‌زیست هستند. در این پژوهش سعی بر آن شده است که با استفاده از روش تجزیه‌وتحلیل حالات و اثرات شکست زیست‌محیطی، ریسک‌های زیست‌محیطی سد باطله معدن مس سونگون ارزیابی گردد و با پیشنهاد اقدامات مدیریتی مناسب جهت کاهش اثرات ریسک‌ها از بروز حوادث ناشی از نشت یا شکست سد باطله جلوگیری به عمل آید. در ابتدا خطرات بالقوه موجود در این سد باطله در سه دسته فیزیکی– شیمیایی، بیولوژیکی و اقتصادی – اجتماعی، از طریق بازدید میدانی و به کمک مصاحبه با کارشناسان خبره پروژه، و همچنین در قالب پرسشنامه‌هایی که توسط ۱۸ نفر از کارشناسان خبره معدن مس سونگون تکمیل گردید، شناسایی شدند. بر اساس آنالیزهای انجام‌شده در محیط فیزیکی– شیمیایی، ریسک لرزه‌خیزی منطقه با ۱٦،۷ درصد، در محیط بیولوژیکی، ریسک آلودگی صوتی با ١٤،٦ درصد و در محیط اجتماعی–اقتصادی، ریسک اثر بر چشم‌انداز با ۱۹،۳ درصد بالاترین امتیاز ریسک را کسب کردند سپس نتایج تحقیق حاضر با مطالعات پیشین مورد بحث و مقایسه قرار گرفت که از همسویی خوبی برخوردار بودند؛ ازاین‌رو می‌توان نتیجه گرفت که روش EFMEA به‌خوبی می‌تواند در ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی سدهای باطله مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، به‌منظور کاهش یا حذف خطرات و عوامل به وجود آورنده ریسک‌های محیط‌زیستی پیشنهاد می‌گردد دوره‌های بازرسی و پایش، متناسب با ریسک‌های شناسایی‌شده، جزء مهم‌ترین اهداف برنامه‌های مدیریتی قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی ریسک،زیست محیط، روش EFMEA، سد باطله، معدن مس سونگون.

---

۱ نویسنده مسئول ۰۹۳۹۷۷۵۳۱٦٦

Email: mehran.amiri@pnu.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه نقش کلیدی صنعت معدن و معدنکاری در توسعه اقتصادی، فناوری و رشد شهرنشینی در کشورهای مختلف جهان و ازجمله ایران بر کسی پوشیده نیست و نیاز روزافزون جوامع انسانی به محصولات ساخته‌شده از مواد معدنی احساس می‌شود. بر اساس مطالعات انجمن بین‌المللی معدن و فلزات، تولید ناخالص داخلی جهانی از سال۱۹۹۲ تا سال ۲۰۱٤ با روند افزایش تولید مواد معدنی، افزایش یافته است. همچنین، این مطالعات نشان دهنده افزایش چشم‌گیر نرخ رشد شهرنشینی در کشورهای توسعه‌یافته نظیر آمریکا، همگام با روند افزایش تولید ناخالص داخلی است (Spitz & Trudinger, 2019). اما صنعت معدنکاری علی‌رغم دستاوردهای مثبت که منجر به توسعه پایدار در کشورهای مختلف جهان شده است، به دلیل تشکیل حجم عظیمی مواد باطله حاصل از فعالیت‌های معدنی، آلودگی‌های ناشی از زهاب‌های اسیدی، انتقال عناصر خطرناک به منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و از بین بردن اراضی و مناظر طبیعی ازجمله صنایع پرمخاطره بوده و یکی از معضلات مهم زیست‌محیطی محسوب می‌شود (Stefaniak & Wróżyńska, 2018 ؛Chattopadhyay & Chattopadhyay, 2020). به همین دلیل، ارزیابی ریسک زیست‌محیطی در این صنعت اهمیت خاصی پیدا کرده است (Ruokonen & Temmes, 2019). با توجه به اینکه ایران جزء کشورهای صادرکننده نفت است و به دلیل افت شدید قیمت جهانی نفت و تحریم صادرات نفت، با تمام مشکلاتی که برای کشور داشته (Dudlák, 2018 ;Kurtar et al., 2019)، فرصت مناسبی برای تغییر منابع درآمدی ایجاد نموده است. ۵۷میلیارد تن ذخایر احتمالی و ۳۷ میلیارد تن ذخایر قطعی معدنی در کشور (مجله عصر مس،۱۳۹۵) سرمایه عظیمی است که در صورت برنامه‌ریزی مناسب می‌تواند مکمل نفت در تأمین درآمدهای کشور باشد. مهم‌ترین اصل درروند توسعه پایدار صنعت معدن و معدنکاری، توجه هم‌زمان به سه رویکرد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی است. عدم توجه به این سه رویکرد نه‌تنها منجر به توسعه پایدار نشده بلکه یک نظام ناکارآمد را به وجود می‌آورد (Monteiro et al., 2019).

از چالش‌های اصلی معدنکاری در سال‌های اخیر همان‌طور که در بالا نیز اشاره شد حجم باطله‌های زیاد تولیدشده در مرحله استخراج و فرآوری است که به‌منظور مدیریت، جمع‌آوری و نگهداری مواد باطله، سدهای باطله در کنار نواحی معدنی ساخته می‌شوند. به دلیل ماهیت مواد باطله ذخیره‌شده در مخزن سد، هرگونه نشت یا شکست سدهای باطله باعث پیامدهای زیست‌محیطی ناگواری خواهد شد که بروز این پیامدها تا مدت مدیدی ناهنجاری‌های زیستی را در منطقه به دنبال دارد با اعمال مدیریت و ارزیابی ریسک زیست‌محیطی سدهای باطله می‌توان از بروز تمامی پیامدهای زیست‌محیطی جلوگیری به عمل آورد (Armstrong et al, 2019 ؛ Lèbre et al., 2017 ؛ Hatje et al., 2017).

ارزیابی ریسک زیست‌محیطی، یک ابزار مهم در مدیریت محیط‌زیست به‌منظور کاهش مخاطرات پروژه‌ها و دستیابی به توسعه پایدار به شمار می‌رود که امروزه در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های اکثر کشورهای جهان مورد توجه قرار می‌گیرد (Ruokonen & Temmes, 2019 ؛ Yoneda & Mokhtar, 2018). ارزیابی ریسک زیست‌محیطی، فرایند تحلیل کمی و کیفی پتانسیل‌های خطر و ضریب به فعل درآمدن ریسک‌های احتمالی موجود در پروژه و همچنین حساسیت یا آسیب‌پذیری محیط پیرامونی است (Golbarg et al., 2018). بدون یک سیستم ارزیابی که مخاطرات را بر اساس پتانسیل خطر آن‌ها رتبه‌بندی می‌کند، ممکن است زمان و منابع سازمان بر روی مواردی که ریسک پایین دارند معطوف شده و از مواردی که خیلی مهم هستند غافل گردند (Karami et al., 2014). امروزه استفاده از روش‌های ارزیابی ریسک در صنایع مختلف رو به گسترش است که این روش‌ها نسبت به یکدیگر دارای مزایا و معایب مختلفی می‌باشند و هر یک از صنایع بسته به نیاز خود از تکنیک‌های مذکور استفاده می‌نمایند (Saeidi et al., 2019). روش تجزیه‌وتحلیل حالات و اثرات شکست زیست‌محیطی (EFMEA[1]) از پرکاربرترین روش‌های ارزیابی ریسک است. استفاده از روش EFMEA در ارزیابی ریسک پروژه‌های گوناگون در مقایسه با سایر روش‌های ارزیابی ریسک، روش کامل‌تری است که با شناسایی نواقص و رفع بسیاری از خطاهای پنهان و آشکار موجود در فرآیند یک پروژه و همچنین کاهش هزینه‌های سایر روش‌های ارزیابی، می‌تواند روش مفیدی باشد (Piechowski et al., 2018; Vazdani et al., 2017).

بررسی پیشینه استفاده از روش EFMEA نشان می‌دهد که این روش به‌تنهایی یا با روش‌های دیگر برای ارزیابی ریسک در موارد مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. جوزی و میر سلیمی (۱۳۹٤)، مدیریت ریسک زیست‌محیطی معدن سنگ‌آهن ماد کانسار، شهرستان خرم بید با استفاده از روش‌های تلفیقیEFMEA و ویلیام فاین[2] را مورد مطالعه قرار دادند. جوزی و سیف (۱۳۹۳)، پس از شناسایی فعالیت‌های سد در فاز بهره‌برداری به‌منظور شناسایی عوامل ریسک از روش آنالیز مقدماتی خطر موسوم به PHA[3] و EFMEA استفاده کردند. نجفی و یار احمدی (۱۳۸۷) ایمنی و آنالیز ریسک سدهای باطله را بررسی کردند و مسئله مشکلات زیست‌محیطی عمده سدهای باطله را بررسی و بیان نمودند. هدف از این پژوهش ارزیابی ریسک زیست‌محیطی سد باطله معدن مس سونگون با استفاده از روش EFMEA است. سد باطله معدن مس سونگون به دلیل قرارگیری در بالادست زمین‌های زراعی و روستاها و همچنین یکی از سرشاخه‌های ستارخان اهر، یک نوع تهدید زیست‌محیطی محسوب می‌شود زیرا همراه احتمال آلودگی آب‌های سطحی و زیرسطحی و همچنین به خطر افتادن سلامت و بهداشت عمومی ساکنین پایین‌دست سد وجود دارد. بر اساس بررسی مؤلفین تاکنون در کشور مطالعات ارزیابی ریسک سد باطله انجام نشده

1 Environmental Failure Mode and Effect Analysis
2 William & Fine Method
3 Preliminary Hazard Analysis

است بنابراین در این پژوهش با استفاده از روش جدید EFMEA ریسک‌ها و تهدیدات سد باطله مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته است. فرضیه این پژوهش عبارت است از:

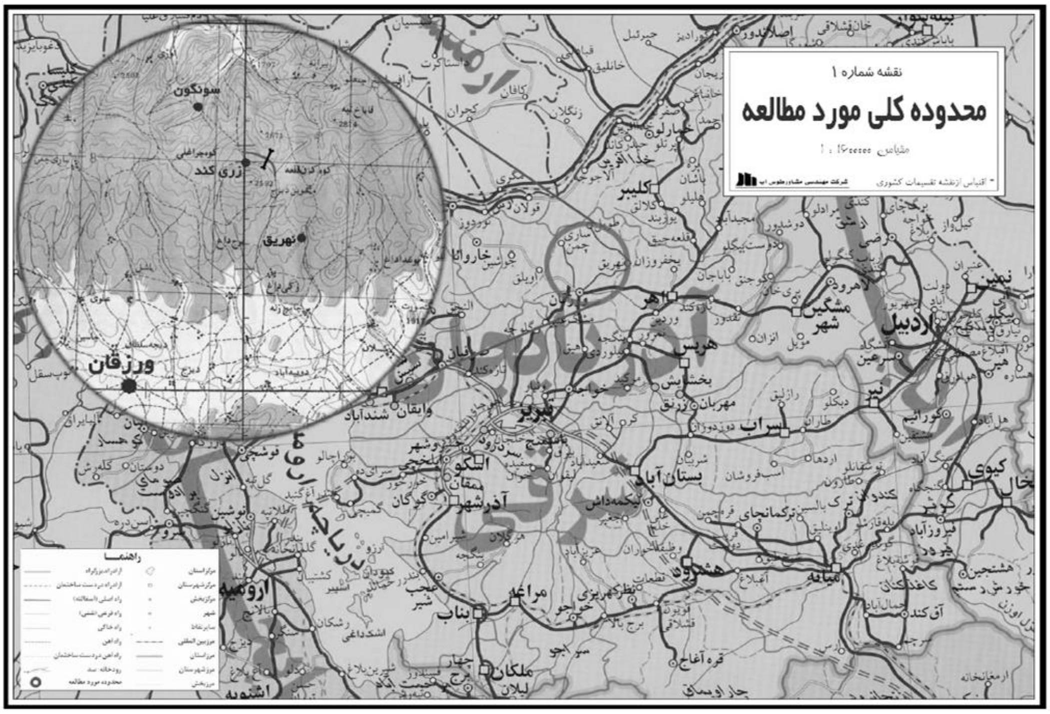
به کمک روش EFMEA به‌خوبی می‌توان ریسک‌های سد باطله مس سونگون را شناسایی و ارزیابی نمود. تاکنون پژوهش‌های صورت گرفته در محدوده مطالعاتی جهت ارزیابی ریسک از شاخص‌های موجود در روش‌های ارزیابی ریسک بهره گرفته است که می‌توان به مطالعات ارزیابی اقتصادی و تحلیل ریسک معدن سونگون با استفاده از روش مونت‌کارلو[1] (صیادی و همکاران، ۱۳۸٦) و بررسی و تحلیل آمار حوادث ناشی از کار در معدن مس سونگون و ارزیابی ریسک حوادث با استفاده از شاخص ارزیابی ایمنی (نوری زاده و همکاران، ۱۳۸۷) اشاره کرد. با به‌کارگیری روش‌های نوین در ارزیابی ریسک می‌توان تا حدود قابل‌ملاحظه‌ای از شدت بروز ریسک‌ها و به‌تبع آن از خسارات و زیان‌های وارده بر محیط‌زیست کاست و در راستای نیل به توسعه پایدار حرکت نمود. در این پژوهش همان‌طور که اشاره شد در فرایند ارزیابی ریسک سد باطله مذکور از روش ارزیابی ریسک زیست‌محیطی (EFMEA) استفاده شده است که می‌توان از نتایج آن‌ها در راستای مدیریت و تصمیم‌گیری در خصوص کنترل و کاهش پیامدهای خطر (یا مخاطرات) بهره گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

سد باطله مجتمع مس سونگون تبریز و تأسیسات وابسته به آن در زمینی به وسعت ۱٤۰۰ هکتار و در نزدیکی معدن با موقعیت جغرافیایی x=٦٤۹۱۵۰ و y=٤۲۷۳٦۰ الی x=٦۵۳۵۲۰ و y=٤۲۸۲٦۷۰ قرار گرفته و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۲۳۱۳ متر می‌باشد و در فاصله ۱۳۰ کیلومتری شمال تبریز و ۳۰ کیلومتری شهرستان ورزقان واقع گردیده است. سد باطله مذکور از نوع سنگریزه‌ای با هسته رسی می‌باشد و به‌منظور ذخیره مواد باطله حاصل از استخراج و فرآوری فعالیت‌های مختلف کارخانه تغلیظ سونگون احداث شده که از شهریور ۱۳۸۵ در حال بهره‌برداری است. تأسیسات زیربنایی سد باطله شامل ۱- سد اولیه یا آغازین (به‌منظور ذخیره‌سازی اولیه سد باطله در سال‌های اولیه بهره‌برداری احداث شده است)، ۲- تراوش یا آب برگشتی (همه تراوشات پی و بدنه در مخزن این سد جمع‌آوری و توسط ایستگاه پمپاژ به مخزن سد باطله بازگردانده می‌شود و همچنین عمق آن حداکثر ۳۷,۵ و با طول ۱۳۰ متر است و از نشت آب تراوش یافته از سد باطله به پایین‌دست ممانعت می‌کند) و ۳ - سیستم انحراف آب رودخانه (فرازبند، کانال انحراف موقت و مجرای لوله‌ای انحراف آب) می‌باشد (Aghili et al., 2018). شکل ۱ موقعیت مکانی مجتمع سونگون را نشان می‌دهد.

1 Monte Carlo



شکل ۱- موقعیت مکانی مجتمع سونگون

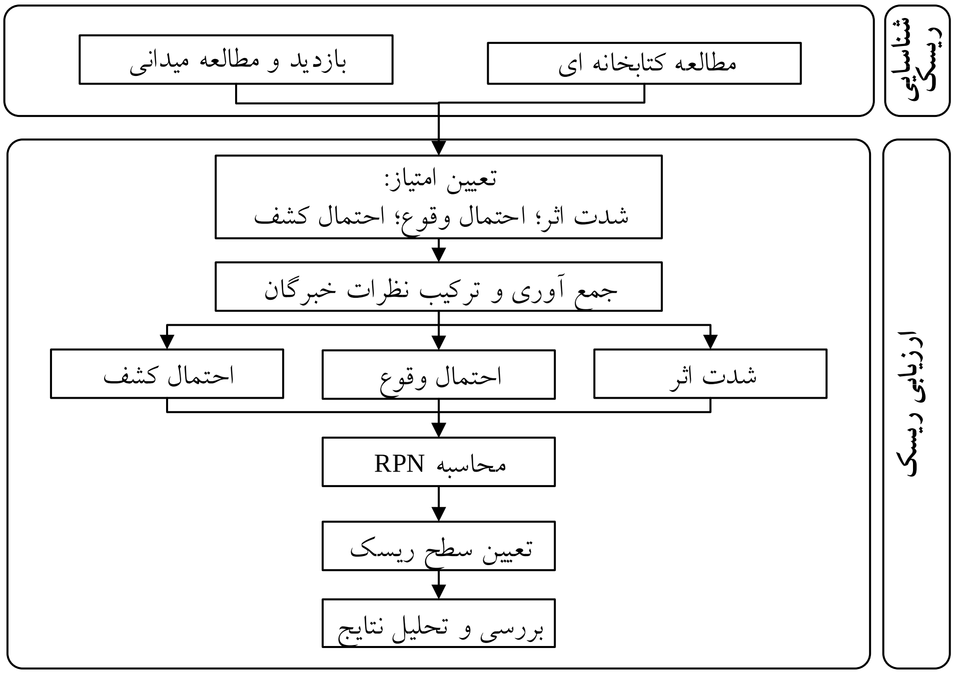
۲-۲- مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی

در ابتدای پژوهش، سوابق و تاریخچه کارهای انجام پذیرفته در گذشته و قوانین و دستورالعمل‌های مربوط به مسئله موردپژوهش شناسایی می‌شوند. جمع‌آوری اطلاعات راجع به منطقه موردمطالعه با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای (استفاده از پایان‌نامه‌های موجود در رابطه با محدوده موردنظر،گزارش‌های موجود در سازمان محیط‌زیست و ...) گام بعدی را شامل می‌شود. سپس جهت تعیین ریسک‌ها، بازدید میدانی از مجتمع سونگون برای شناسایی فعالیت‌ها و ریسک‌ها احتمالی سد باطله که منجر به ایجاد خطر می‌شوند، صورت گرفت. پس از شناسایی فعالیت‌های به وجود آورنده ریسک، پرسش‌نامه‌ای در اختیار ۱۸ نفر از متخصصین محیط‌زیست، ایمنی و بهداشت و کارکنان شاغل در مجتمع قرار گرفت و درجه اهمیت آن‌ها مشخص گردید (با توجه به اینکه سؤالات مطرح‌شده در پرسشنامه‌ها تخصصی می‌باشد بنابراین نیاز بود از افراد متخصص و شاغل در بخش سد باطله استفاده گردد که پس از بررسی‌های صورت گرفته از بین افراد شاغل در این بخش ۱۸ نفر با استفاده از فرمول کوکران انتخاب گردید). در مرحله بعد برای تعیین ریسک‌های شاخص، پرسش‌نامه‌ای دیگر، مجدداً در اختیار همان کارشناسان و متخصصان خبره قبلی قرار گرفت و درنهایت بر اساس نظرات اعلام‌شده از سوی کارشناسان و متخصصان خبره،عوامل به وجود

آورنده ریسک و حائز اهمیت سد باطله در سه محیط پذیرنده (فیزیکی-شیمیایی، بیولوژیکی و اجتماعی-اقتصادی) تفکیک گردید.

۲-۳- روش EFMEA

با توجه به اینکه داده‌های جمع‌آوری‌شده از پرسشنامه‌ها کیفی بودند برای کمی سازی و تجزیه‌وتحلیل آن‌ها از روش EFMEA استفاده شد. در روش مذکور برای امتیازدهی به شدت و احتمال کشف و وقوع هر یک از ریسک‌های احتمالی در محیط‌های پذیرنده از جداول ۱، ۲ و ۳ روش تجزیه‌وتحلیل عوامل شکست و آثار آن بر زیست‌محیطی (EFMEA) استفاده شد. همچنین نمودار گردش کار فرایند پژوهش در شکل ۲ مشاهده می‌شود.



شکل ۲- نمودار گردش کار فرایند تحقیق

تعیین امتیاز شدت ریسک با استفاده از جداول موجود در روش EFMEA صورت پذیرفت (جدول ۱). هر چه ریسک وارده بر محیط‌های پذیرنده شدت بیشتری داشته باشد و زیان شدیدتری به منابع وارد نماید، امتیاز بالاتری را دریافت خواهد نمود (Jozi & Salati, 2012).

جدول ۱- رتبه‌بندی شدت EFMEA (Jozi & Salati, 2012)

امتیاز	شرح شدت	شدت
۵	به صورت بالقوه مخرب/ زیان شدید به منابع	خیلی زیاد
٤	مضر اما مخرب بالقوه نیست/ اتلاف یا مصرف زیاد منابع	زیاد
۳	نسبتاً مضر/ اتلاف یا مصرف متوسط منابع	متوسط
۲	پتانسیل کم برای ضرر دارد/ اتلاف یا مصرف کم منابع	کم
۱	ضرر ناچیز و قابل صرف‌نظر کردن است/ اتلاف یا مصرف ناچیز منابع	خیلی کم

جهت استخراج امتیاز احتمال وقوع ریسک نیز از جداول EFMEA استفاده گردید (جدول ۲). هرچه احتمال وقوع ریسک در محیط‌های پذیرنده بالاتر باشد امتیاز بالاتری را دریافت خواهد نمود و درنهایت برای استخراج احتمال کشف، اگر ریسک وارده بر محیط‌های پذیرنده هیچ امکانی برای شناسایی و کشف نداشته باشد و همچنین خسارات وارده جبران‌ناپذیری باشد (جوزی و میرسلیمی، ۱۳۹۵). امتیاز بالاتری به آن تعلق می‌گیرد(جدول ۳).

جدول۲- رتبه‌بندی احتمال وقوع EFMEA (Jozi & Salati, 2012)

امتیاز	احتمال وقوع
۵	رخداد بسیار زیاد و حتمی (امکان دارد هرروز اتفاق بیفتد)
٤	رخداد معمول (امکان دارد در طول هفته اتفاق بیفتد)
۳	رخداد محتمل و متوسط (امکان دارد در طول ماه اتفاق بیفتد)
۲	رخداد کم‌مقدار (امکان دارد در طول سال، یک‌بار اتفاق بیفتد)
۱	رخداد غیرممکن و بعید (امکان دارد در هر ده سال، یک‌بار اتفاق بیفتد)

جدول۳- رتبه‌بندی احتمال کشفEFMEA (Jozi & Salati, 2012)

امتیاز	احتمال کشف
۵	هیچ کنترل شناخته‌شده‌ای برای کشف حالات خرابی شناسایی نشده است.
٤	احتمال کشف حالات خرابی توسط کنترل جاری کم است.
۳	احتمال کشف حالات خرابی توسط کنترل جاری متوسط است.
۲	احتمال کشف حالات خرابی توسط کنترل جاری زیاد است.
۱	احتمال کشف حالات خرابی توسط کنترل جاری خیلی زیاد است.

و با مشخص شدن احتمال وقوع، شدت و احتمال کشف با استفاده از رابطه (۱) مقدار عددی اولویت هر ریسک (RPN[1]) محاسبه شد (Ardeshir et al., 2016):

1 Risk Priority Number

رابطه (۱)
$$RPN = (S) \times (O) \times (D)$$

در رابطه (۱)؛ (S) شدت اثر، (O) احتمال وقوع و (D) احتمال کشف است و درنهایت به‌منظور تعیین اولویت سطح ریسک، حد بالا و پایین ریسک، میانگین و انحراف معیار با استفاده از رابطه‌های (۲ و ۳) به دست آمد (جوزی و میرسلیمی، ۱۳۹۵).

(رابطه ۲)
$$\bar{x} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i = \frac{x_i + x_i + \ldots x_i}{N}$$

(رابطه ۳)
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x - \bar{x})^2}$$

با استفاده از میانگین و انحراف معیار داده‌ها، میزان پخش‌شدگی به چپ و راست داده‌ها مورد محاسبه قرار می‌گیرد بدین‌صورت که مقدار میانگین داده‌ها، به عنوان شاخص ریسک تعیین می‌شود. مقدار انحراف معیار نیز به میانگین داده‌ها اضافه می‌شود و میزان پخش‌شدگی به راست داده‌ها به دست می‌آید. همچنین، مقدار انحراف معیار از میانگین داده‌ها و میزان پخش‌شدگی به چپ داده‌ها محاسبه می‌شود. میزان پخش‌شدگی به راست داده‌ها حد بالای ریسک و میزان پخش‌شدگی به چپ داده‌ها، حد پایین ریسک است. بعد از مشخص شدن حد ریسک بالا و پایین ریسک با استفاده از رابطه‌های (٤ و ٥) رده و طول دسته‌بندی به دست آمد.

رابطه (٤)
$$\text{تعداد رده} = 1 + 3.3\log(n)$$

رابطه (٥)
$$\text{طول رده} = \frac{\text{حد بالای ریسک} - \text{حد پایین ریسک}}{\text{تعداد رده}}$$

در رابطه (٤): n نشان‌دهنده تعداد ریسک‌های شناسایی‌شده می‌باشد. و درنهایت با توجه به رابطه‌های (٤و ٥) سطح ریسک زیست‌محیطی هر یک از ریسک‌های احتمالی در سه محیط فیزیکی-شیمیایی، بیولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی تعیین شد (جوزی و میرسلیمی، ۱۳۹۵).

۳- نتایج و بحث

مقدار عدد اولویت ریسک (RPN) برای هر یک از ریسک‌های محیط فیزیکی–شیمیایی مطابق جدول ٤ محاسبه شد. همان‌طور که جدول شماره ٤ نشان می‌دهد لرزه‌خیزی با مقدار عددی ۲۱،۰۸بیش‌ترین و میزان سیلابی بودن و

خطر سیل با مقدار عددی ٢،٤٥ کمترین مقدار عددی ریسک را کسب کرده است. پارامترهای انتخابی در سه محیط پذیرنده (فیزیکی- شیمیایی، بیولوژیکی و اجتماعی) با توجه به مطالعات انجام‌شده در منطقه موردپژوهش شامل گزارش‌های تمهیدات کنترل نشت آلودگی به پایین‌دست در سد باطله مجتمع مس سونگون، آشنایی با طرح مطالعات سد مس سونگون و طرح تأمین آب و دفع پساب کارخانه تغلیظ مس سونگون، که توسط شرکت مهندسین مشاور طوس آب صورت گرفته و همچنین طی بازدید میدانی و پرسش از افراد خبره و کارشناسان شاغل در محدوده انتخاب گردیده است.

جدول ٤- نتایج حاصل از محاسبه احتمال وقوع ریسک‌های محیط فیزیکی-شیمیایی (شرکت مهندسین مشاور طوس آب، ١٣٨٢، ١٣٨٣)

ردیف	پارامتر	احتمال وقوع	شدت اثر	احتمال عدم کشف	RPN
١	نفوذ مواد باطله در زمین (زمین‌شناسی)	٢،٣٣	٣،٣٤	١،٩٠	١٤،٧٨
٢	پتانسیل رانش زمین در اطراف سد	٢،١٠	٢،٢٠	٢،٨٠	١٢،٩٣
٣	شرایط توپوگرافی منطقه	١،١٠	١،٢١	٣،٧٠	٤،٩٢
٤	عدم پایداری شیب زمین	٢،٠١	٢،٠٣	٢،٥٦	١٠،٤٤
٥	جهت نامناسب شیب سد باطله	١،٠١	١،٠٥	١،٠٤	٤،١٩
٦	وجود گسل‌های منطقه	١،١٠	١،٣١	٣،٦٠	٥،١٨
٧	لرزه‌خیزی منطقه	٣،٤٠	٣،١٠	٢،٠٠	٢١،٠٨
٨	میزان سیلابی بودن منطقه و خطر سیل	١،٢٠	١،٠٣	١،٩٩	٢،٤٥
٩	ناهمگن بودن بافت خاک	٢،٣٠	٢،٥٠	٢،٩٠	١٦،٦٧
١٠	خواص فیزیکی و شیمیایی مواد باطله	٢،٠٣	٣،٤٠	١،٩٢	١٣،٢٥
١١	درجه سیالی مواد باطله	٢،٠١	٣،٠٩	١،٩٠	١١،٨٠
١٢	میزان فرسایش منطقه	٢،٩٠	٣،٥٠	٠،٩٠	٩،١٣
١٣	نفوذپذیری مواد باطله	١،٢٠	١،٠٨	٣،٦٦	٤،٧٤
١٤	جهت جریان آب‌های زیرزمینی	٢،٠١	٢،٣٠	٢،٩٠	١٣،٤٠
١٥	جهت جریان آب‌های سطحی	٢،٢٠	١،١٣	٣،٠٠	٧،٤٥
١٦	جهت و شدت وزش باد منطقه	١،٠٩	١،٠٥	٣،٩٠	٤،٤٦
١٧	میزان درجه حرارت منطقه	١،٣٠	١،١٠	٣،٩٦	٥،٦٦
١٨	شدت بارندگی	٢،٣٥	٢،٢٠	٢،٩٠	١٤،٩٩
١٩	عملیات خاک‌برداری - خاک‌ریزی	٦٥،٢	١٠،٢	٨٠،٢	١٥،٥٨
٢٠	رسوب‌گذاری و ته‌نشینی مواد باطله	٣٠،١	٠٥،١	٦٠،٣	٤،٩١
٢١	عملیات ترفیع سد باطله	٣٠،١	٠١،١	٩٨،٣	٥،٢٢

ردیف	پارامتر	احتمال وقوع	شدت اثر	احتمال عدم کشف	RPN
۲۲	مقاومت خاک	۰۳،۲	۰۱،۲	۳،۰۰	۱۲،۲٤
۲۳	تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی	۱۱،۱	۰۱،۱	۹٤،۳	٤،٤۱
۲٤	عملیات حفاری	۱۲،۱	۵۰،۱	۹۰،۳	٦،۵۵

جدول ۵ نتایج محاسبه مقدار عددی ریسک در محیط بیولوژیکی را نشان می‌دهد که آلودگی صوتی با مقدار عددی ۱۸،۲٤ بالاترین مقدار عددی ریسک را به خود اختصاص داده است. پایین‌ترین عدد اولویت ریسک مربوط به ریسک مرگ‌ومیر حیوانات با مقدار عددی ۳،۹۹ می‌باشد.

جدول ۵- نتایج حاصل از محاسبه احتمال وقوع ریسک‌های محیط بیولوژیکی(شرکت مهندسین مشاور طوس آب، ۱۳۸۲، ۱۳۸۳)

ردیف	پارامتر	احتمال وقوع	شدت اثر	احتمال عدم کشف	RPN
۱	آلودگی خاک	٤۵،۲	۱۹،۲	۹۰،۰	٤،۸۲
۲	آلودگی آب‌های سطحی	۰٤،۱	۱۰،۲	۹۰،۳	۸،۵۱
۳	آلودگی آب‌های زیرزمینی	٤۰،۱	۲۰،۱	۸۷،۳	٦،۵۰
٤	مرگ‌ومیر حیوانات	۰۳،۲	۰۱،۱	۹۵،۱	۳،۹۹
۵	از بین رفتن زیستگاه	۸۹،۱	۳۰،۲	۸۰،۳	۱٦،۵۱
٦	آلودگی هوا	۱۳،۱	۲۰،۱	۹٤،۳	۵،۳٤
۷	آلودگی صوتی	۰۳،۳	۰۱،۳	۲،۰۰	۱۸،۲٤

جدول ٦ نتایج محاسبه مقدار عددی ریسک‌های شناسایی‌شده در محیط اجتماعی- اقتصادی را نشان می‌دهد. بالاترین مقدار عددی ریسک را، اثر بر چشم‌انداز با ۲٤،۱۲ و پایین‌ترین مقدار عددی ریسک مربوط به ریسک کاهش تولید معدن یا بسته شدن آن با مقدار ۰۸۱ است.

جدول ٦- نتایج حاصل از محاسبه احتمال وقوع ریسک‌های محیط اجتماعی-اقتصادی(شرکت مهندسین مشاور طوس آب، ۱۳۸۲، ۱۳۸۳)

ردیف	پارامتر	احتمال وقوع	شدت اثر	احتمال عدم کشف	RPN
۱	ریسک سلامت و امنیت کارگران	۰۱،۲	۲،۰۰	۹۱،۲	۱۱،٦۹
۲	از بین رفتن شغل	۱۲،۱	۱۰،۱	۹۹،۳	٤،۹۱
۳	از بین رفتن زمین‌های کشاورزی	۰۳،۳	۰٤،۳	۹۹،۱	۱۸،۳۳

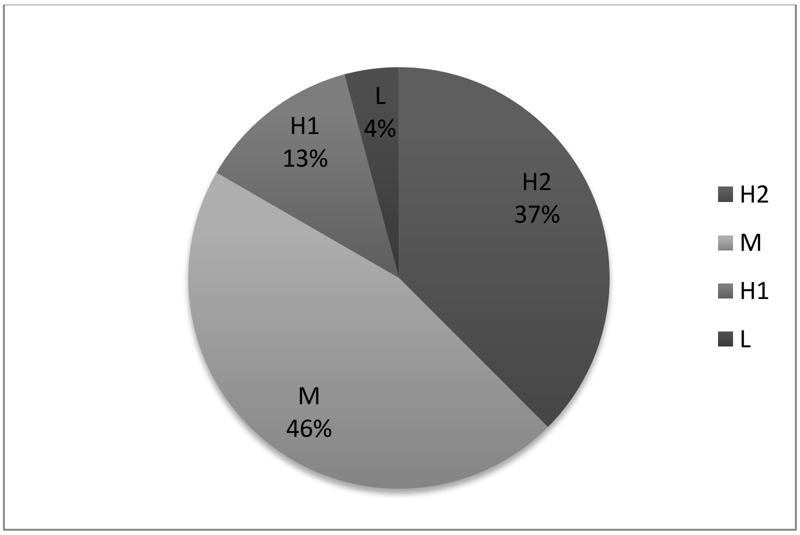
ردیف	پارامتر	احتمال وقوع	شدت اثر	احتمال عدم کشف	RPN
٤	کاهش تولید معدن یا بسته شدن آن	۱٥،۱	٤۱،۱	٥۰،۰	۰،۸۱
٥	خسارات وارده به ماشین‌آلات	۱۳،۱	۱۰،۱	۹۹،۳	٤،۹٥
٦	جریمه‌های زیست‌محیطی	۱۰،۳	۹۰،۳	۸۰،۱	۲۱،۷٦
۷	ارتفاع سد	۰۱،۱	۰٥،۱	۹۷،۳	٤،۲۱
۸	از بین رفتن منابع غذایی	۱٥،۱	۰۲،۱	۹٦،۳	٤،٦٤
۹	اثر بر بهداشت و درمان	۱٤،۲	۰۱،۲	۳۰،۳	۱٤،۱۹
۱۰	اثر بر چشم‌انداز	٦۷،۳	٤٦،۳	۹۰،۱	۲٤،۱۲
۱۱	احداث جاده‌های دسترسی	۹۰،۲	۸۰،۲	۹۰،۲	۲۳،٥٤
۱۲	ریسک سلامت و امنیت مردم محلی	٤۰،۱	۲۰،۱	۹۰،۳	٦،٥٥

سپس با استفاده از روابط (۲ و ۳) ارائه‌شده در بخش مواد و روش، حد پایین و بالای ریسک به دست آمد و همچنین با استفاده از روابط (٤ و ٥) طول رده حاصل شد؛ برای مثال حد بالای ریسک در محیط‌های مذکور (۱۱،۳٦) منهای حد پایین ریسک (۱۳۸) تقسیم‌بر رده ریسک (۳۹،٦) شد و طول رده برابر ٤ به دست آمد. درنهایت رده‌بندی سطح ریسک و اولویت‌بندی RPN در محیط‌های فیزیکی و شیمیایی، بیولوژیکی و اجتماعی و اقتصادی تعیین شد و بعد سطح ریسک در محیط‌های پذیرنده به چهار سطح، سطح ریسک خیلی زیاد (H_2)، سطح ریسک زیاد (H_1)، سطح ریسک متوسط (M) و سطح ریسک پایین (L) طبقه‌بندی گردید (جدول ۷)

جدول ۷- سطوح ریسک برای اولویت‌بندی اعداد اولویت ریسک

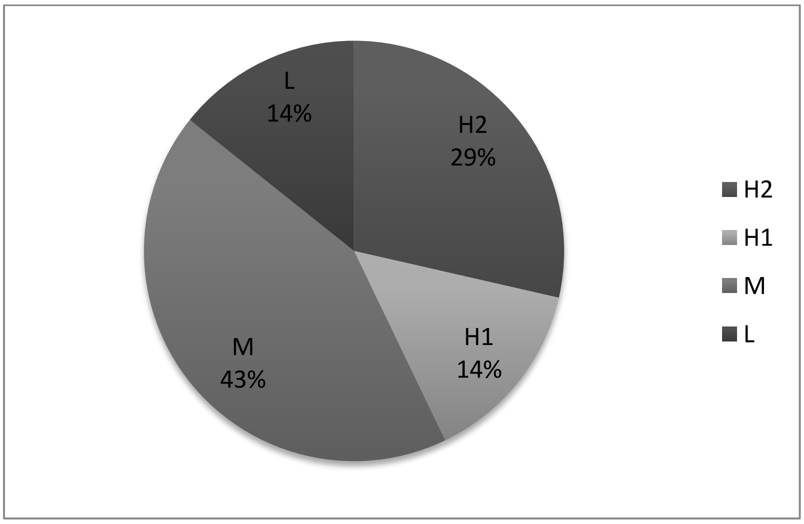
ردیف	محدوده عدد اولویت ریسک	سطح ریسک
۱	٤-۰	پایین
۲	۸-٤	متوسط
۳	۱۲-۸	زیاد
٤	۱۲<	خیلی زیاد

شکل‌های شماره ۳ تا ٥ نتایج حاصل از اولویت‌بندی صورت گرفته در محیط‌های پذیرنده (فیزیکی- شیمیایی، بیولوژیکی و اقتصادی- اجتماعی) را نشان می‌دهد.



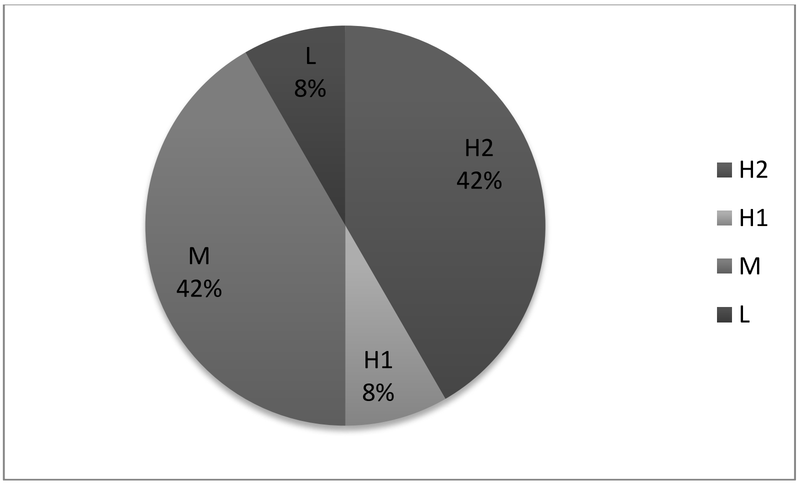
شکل ۳- مقایسه سطح ریسک‌های EFMEAدر محیط فیزیکی –شیمیایی

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، بیش‌ترین ریسک‌های به وجود آمده در محیط فیزیکی – شیمیایی در سطح ریسکM و H_2قرار دارند که از کل ریسک‌ها هرکدام به ترتیب ٤٦ و ۳۷ درصد را به خود اختصاص داده‌اند و ۱۷ درصد باقی‌مانده در سطح ریسک H_1و L قرار دارد.



شکل ٤- مقایسه سطح ریسک‌های EFMEA در محیط بیولوژیکی

با توجه به شکل ٤ ملاحظه می‌گردد بیشترین سطح ریسک در محیط بیولوژیکی در سطح ریسک M قرار دارد که از کل ریسک‌ها سهم ٤۳ درصد را به خود اختصاص داده است.



شکل ۵- مقایسه سطح ریسک‌های EFMEAدر محیط اجتماعی - اقتصادی

و در پایان همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، بیش‌ترین ریسک‌های به وجود آمده در محیط اجتماعی – اقتصادی در سطح ریسک M و H_2 قرار دارند که از کل ریسک‌ها هرکدام به‌طور مساوی سهم ٤۲ درصد را به خود اختصاص داده‌اند و حدود ١٦ درصد باقی‌مانده با سهم مساوی ۸ درصد در سطح ریسک H_1 و L قرار دارد.

بر اساس نتایج تحقیق حاضر مهم‌ترین ریسک در محیط پذیرنده فیزیکی-شیمیایی، لرزه‌خیزی منطقه به دست آمد. در بررسی ادبیات موضوع مشاهده می‌شود که اهمیت ریسک موردنظر به حدی بوده است که چندین پژوهش (ازجمله Herrmann, 2019; Liebenberg et al., 2017; Harper at al., 1992) به بررسی اثرات این ریسک در مقوله معدن کاری و سد باطله به‌عنوان یک ریسک بسیار مهم و دغدغه متولیان امر پرداخته‌اند. همچنین بر اساس آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰) عمده گستره محدوده سد باطله معدن مس سونگون بر پهنه با خطر لرزه‌خیزی نسبی زیاد واقع شده است که این موضوع نیز تصدیق‌کننده اهمیت ریسک لرزه‌خیزی در این سد می‌باشد (آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، ١٣٩٤). در این زمینه با استفاده از تجهیزات کنترل و کاهش خطرات ناشی از لرزه‌خیزی می‌توان تا حد زیادی از بروز و ایجاد چنین ریسک‌هایی جلوگیری نمود.

همچنین پژوهش حاضر، آلودگی صوتی به‌عنوان مهم‌ترین ریسک در محیط بیولوژیکی پروژه موردمطالعه شناسایی شد که تحت تأثیر صدای ناشی از انفجار در معادن و کارکرد ماشین‌آلات قرار دارد. بر اساس مطالعه پروکتر[1] و براون[2](۲۰۱۹) نیز برای بسیاری از فعالیت‌های معدنی، مدیریت سطوح انتشار سروصدا نکته‌ای بسیار مهم

1 Procter
2 Brown

در مرحله عملیاتی معادن محسوب می‌شود (Procter & Brown, 2019). از سوی دیگر، میهوت[1](۲۰۱۹) نیز در تحقیق دیگری به بررسی اثرات آلودگی صوتی و ارتعاش در اثر فعالیت‌های توسعه معدن پینوآسا[2]پرداخت که در این مطالعه نیز به اهمیت ریسک آلودگی صوتی ذر عملیات بهره‌برداری از معادن تأکید شد (Mihut, 2019). همچنین بر اساس یافته‌های سان[3] و همکاران (۲۰۱۹)، صنعت معدنکاری ازجمله صنایعی است که سروصدای ناشی از انفجار در معدن و کارکرد ماشین‌آلات بیشتر از حد شنوایی می‌باشد و بر سلامت شنوایی کارگران تأثیر زیادی دارد که این یافته نیز با نتیجه تحقیق حاضر همسویی قابل قبولی دارد (Sun et al., 2019). به همین دلیل استفاده از تجهیزات کاهش سروصدا برای کارکنان باید به‌طورجدی در دستور کار قرار گیرد.

ریسک اثر مخرب بر چشم‌انداز نیز به‌عنوان شدیدترین ریسک در محیط اجتماعی- اقتصادی سد باطله معدن مس سونگون به دست آمد. در همین راستا کاساف[4]و همکاران (۲۰۱٤) دریافتند که سدهای باطله دارای تأثیرات منفی محیط‌زیستی از قبیل از بین رفتن گونه‌های گیاهی و جانوری و بر هم خوردن تعادل اکوسیستم منطقه می‌باشد که در بعضی موارد این تخریب‌ها غیرقابل‌جبران است که با نتیجه تحقیق حاضر همسویی دارد (Kossoff et al., 2014). از سوی دیگر این یافته با نتایج تحقیق حبیبی (۱۳۹۲)، که در آن ریسک اثر بر چشم‌انداز به‌عنوان یک ریسک مهم معدن مس سونگون شناسایی شد، همخوانی دارد (حبیبی، ۱۳۹۲). در مطالعه حیدری[5] و اوصانلو[6] (۲۰۱۹) نیز تخریب اکوسیستم به عنوان مهم‌ترین ریسک زیست‌محیطی در مجتمع معدنی روی و سرب انگوران شناسایی شد که با نتایج پژوهش جاری همراستا است.

. فرضیه این پژوهش مبنی بر توانمندی روش EFMEA، در شناسایی و ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی سد باطله معدن مس سونگون، با توجه به بحث و بررسی صورت گرفته فوق مورد اعتبارسنجی و تأیید قرار گرفت.

٤- نتیجه‌گیری

هدف اصلی از احداث سدهای باطله، مدیریت، جمع‌آوری و نگهداری مواد باطله معادن و پساب‌های حاصل از فعالیت‌های معدنی است. از طرفی مواد آلاینده خطرناک در پسماندها و زهاب‌های اسیدی ذخیره‌شده در سدهای باطله دارای پتانسیل ایجاد آثار سوء بر محیط‌زیست می‌باشند. در تحقیق حاضر با استفاده از روش تجزیه‌وتحلیل حالات و اثرات شکست زیست‌محیطی، ریسک‌های زیست‌محیطی سد باطله معدن مس سونگون ارزیابی گردید تا از بروز حوادث ناشی از نشت یا شکست سد باطله جلوگیری به عمل آید. به‌منظور کاهش یا حذف خطرات و عوامل

1 Mihut
2 Pinoasa
3 Sun
4 Kossoff
5 Heidari
6 Osanloo

به وجود آورنده ریسک‌های محیط‌زیستی بایستی دوره‌های بازرسی و پایش، متناسب با ریسک‌های شناسایی‌شده، جزء مهم‌ترین اهداف برنامه‌های مدیریتی قرار گیرد. همچنین از نتایج این پژوهش و بحث و بررسی آن می‌توان نتیجه گرفت که روش تجزیه‌وتحلیل حالات و اثرات شکست زیست‌محیطی با در نظر گرفتن پارامتر احتمال عدم کشف، روشی مناسب و کارآمد برای ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی است. بهره‌گیری از منطق فازی و همچنین ارزیابی فرصت‌های زیست‌محیطی می‌توانند به‌عنوان موضوعاتی جهت تحقیقات آتی تلقی گردند.

کتابنامه

جوزی، سید علی؛ سیف السادات، سیده حمیده؛ ۱۳۹۳. ارزیابی ریسک محیط زیستی سد گتوند علیا در مرحلهٔ بهره‌برداری با استفاده از روش تلفیقی آنالیز مقدماتی خطر و تکنیک EFMEA. *مجله محیط شناسی*. شماره ٤٠(۱). ۱۰۷–۱۲۰.

جوزی، سید علی؛ میرسلیمی، سیده مریم؛ ۱۳۹۵. مدیریت ریسک زیست‌محیطی سنگ آهن ماد کانسار، شهرستان خرمبید با استفاده از روش‌های تلفیقیEFMEA و ویلیام فاین. *مجله مهندسی منابع معدنی*. شماره ۱(۱): ۱۹–۲۷.

حبیبی، احسان الله؛ ۱۳۹۲. *ایمنی کاربردی وشاخص‌های عملکرد در صنعت*. چاپ چهارم، نشرفناوران.

شرکت مهندسی مشاور طوس آب؛ ۱۳۸۲. *گزارش آشنایی با طرح مطالعات سد مس سونگون*.

شرکت مهندسی مشاور طوس آب؛ ۱۳۸۲. *گزارش طرح تأمین آب و دفع پساب کارخانه تغلیظ مس سونگون*.

شرکت مهندسی مشاور طوس آب؛ ۱۳۸۳. *گزارش تمهیدات کنترل نشت آلودگی به پایین دست در سد باطله مجتمع مس سونگون*.

صیادی، احمدرضا؛ منجزی، مسعود؛ حیدری، مهرداد؛ وحیدی، مهدی؛ ۱۳۸٦. ارزیابی اقتصادی و تحلیل ریسک معدن مس سونگون. *مجله مهندسی معدن*. شماره ۲(۳). ۲۱–۳۰.

مجله عصر مس؛ ۱۳۹۵. *هفت درصد ذخایر کشف شده معدنی جهان در ایران*.

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، وزارت راه و شهرسازی؛ ۱۳۹٤. *آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)*. ویرایش چهارم.

نجفی، مهدی؛ یاراحمدی بافقی، علیرضا؛ ۱۳۸۷. بررسی ایمنی و آنالیز ریسک سدهای باطله. هشتمین همایش ایمنی، بهداشت و محیط زیست در معادن و صنایع معدنی. *شرکت سنگ آهن مرکزی ایران*. تهران.

نوری زاده، هادی؛ فراموشی، مالک اشتر؛ پرهیزی، هدی؛ ۱۳۸۷. بررسی و تحلیل آمار حوادث ناشی از کار در معدن مس سونگون و ارزیابی ریسک حوادث. هشتمین همایش ایمنی، بهداشت و محیط زیست در معادن و صنایع معدنی. *شرکت سنگ آهن مرکزی ایران*. تهران.

Aghili S, Vaezihir A, Hosseinzadeh M., 2018. Distribution and modeling of heavy metal pollution in the sediment and water mediums of Pakhir River, at the downstream of Sungun mine tailing dump, Iran. Environmental Earth Sciences. 77(4): 128

Ardeshir A, Mohajeri M, Amiri M., 2016. Evaluation of safety risks in construction using Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis (FFMEA). Scientia Iranica. 23(6): 2546-2556

Armstrong M, Petter R, Petter C., 2019. Why have so many tailings dams failed in recent years?. Resources Policy. 63: 101412

Chattopadhyay S, Chattopadhyay D., 2020. Coal and Other Mining Operations: Role of Sustainability. Fossil Energy. 333-356

Dudlák T., 2018. After the sanctions: Policy challenges in transition to a new political economy of the Iranian oil and gas sectors. Energy Policy. 121: 464-475

Golbarg F, Nabi Bidhendi G, Hoveidi H., 2018. Environmental management of oil pipelines risks in the wetland areas by Delphi and MCDM techniques: case of Shadegan international wetland, Iran. Pollution. 4(2): 195-210

Harper TG, McLeod HN, Davies MP., 1992. Seismic assessment of tailings dams. Civil Engineering. 62(12): 64

Hatje V, Pedreira RM, de Rezende CE, Schettini CAF, de Souza GC, Marin DC, Hackspacher PC., 2017. The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide. Scientific Reports. 7(1): 10706

Heidari M, Osanloo M., 2019. Sustainability assessment of Angouran lead and zinc mining complex. In Proceedings of the 27th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection-MPES 2018 (pp. 523-534). Springer, Cham.

Herrmann M., 2019. Contributions to the risk assessment of natural and induced seismicity: Producing high-resolution catalogs and improving risk-based decision-making (Doctoral dissertation, ETH Zurich).

Jozi SA, Salati P., 2012. Environmental risk assessment of low density polyethylene unit using the method of failure mode and effect analysis. Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly. 18(1): 103-113

Karami SH, Nabibidhendi GHR, Jafari HR, Hoveidi H, Hedayati A., 2014. Risk assessment of chemicalexposures using multi criteria decision making case study Arak petrochemical plant. Iranian Journal of Health and Environment. 7: 229-238

Kossoff D, Dubbin WE, Alfredsson M, Edwards SJ, Macklin MG, Hudson-Edwards KA., 2014. Mine tailings dams: characteristics, failure, environmental impacts, and remediation. Applied Geochemistry. 51: 229-245

Kurtar H, Kapusuzoglu A, Ceylan NB., 2019. Investment decision process in oil economy for major oil exporting and importing countries. In Handbook of Research on Global Issues in Financial Communication and Investment Decision Making (pp. 236-255). IGI Global.

Lèbre É, Corder GD, Golev A., 2017. Sustainable practices in the management of mining waste: A focus on the mineral resource. Minerals Engineering. 107: 34-42

Liebenberg K, Smit A, Coetzee S, Kijko A., 2017. A GIS approach to seismic risk assessment with an application to mining-related seismicity in Johannesburg, South Africa. Acta Geophysica. 65(4): 645-657

Mihut NM., 2019. Noise and vibration effects on human organism, produced by the development activities of the Pinoasa minier perimeter. Fiability & Durability/Fiabilitate Si Durabilitate. 1: 236-239

Monteiro NBR, da Silva EA, Neto JMM., 2019. Sustainable development goals in mining. Journal of Cleaner Production. 228: 509-520

Piechowski M, Szafer P, Wyczolkowski R, Gladysiak V., 2018. Concept of the FMEA method-based model supporting proactive and preventive maintenance activities. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing 400(6): 062023

Procter TG, Brown AL., 2019. The use of probabilistic noise modelling in the design of open-cut mines. In Proceedings of ACOUSTICS (Vol. 10, No. 13).

Ruokonen E, Temmes A., 2019. The approaches of strategic environmental management used by mining companies in Finland. Journal of cleaner production. 210: 466-476

Saeidi P, Saeidi SP, Sofian S, Saeidi SP, Nilashi M, Mardani A., 2019. The impact of enterprise risk management on competitive advantage by moderating role of information technology. Computer Standards & Interfaces. 63: 67-82

Spitz K, Trudinger J., 2019. Mining and the environment: from ore to metal. CRC Press.

Stefaniak K, Wróżyńska M., 2018. On possibilities of using global monitoring in effective prevention of tailings storage facilities failures. Environmental Science and Pollution Research. 25(6): 5280-5297

Sun K, Azman AS, Camargo HE, Dempsey PG., 2019. Risk assessment of recordable occupational hearing loss in the mining industry. International Journal of Audiology. 1-8

Vazdani S, Sabzghabaei G, Dashti S, Cheraghi M, Alizadeh R, Hemmati A., 2017. FMEA techniques used in environmental risk assessment. Environment & Ecosystem Science (EES). 1(2): 16-18

Yoneda M, Mokhtar M., 2018. Environmental risk analysis for Asian-oriented, risk-based watershed management: Japan and Malaysia. Springer.